

첨가제를 이용한 오리멸전 연소실험에 관한 보고서

I. 보고서

- 소 속 : 한국에너지기술연구원 화석에너지환경연구부 열공정연구센터
- 전화번호 : 042-860-3784
- 실험결과 및시 : 2005년 5월 17일

II. 실험목적

[그림 1]에 나타난 한국에너지기술연구원에 설치된 중유 대체를 위한 오리멸전 연소 특성연구용 100l/hr 규모의 소형 보일러를 이용하여 (주) 테크노바이오의 첨가제를 이용한 오리멸전의 연소특성을 평가한다. 실험을 위해 사용된 첨가제는 (주) 테크노바이오의 Power-Z로서, 내열성 미생물 효소(분해온도 200℃)와 특수 효소 수증을 화합시켜 추출해낸 지방산 계통의 주성분을 침투성기 뛰어난 액체물로 용해시킨 특수 생성유가 화합물 이다.



[그림 1] 한국에너지기술연구원의 오리멸전 연소 특성연구용 100l/hr 규모 소형 보일러



실험은 오리멸전, 오리멸전+첨가제 연료 및 중유에 대한 첨가제의 효과분석을 위하여 각 연료시료의 연소에 대한 과잉공기비에 따른 배가스 조성분석치를 비교?검토하였다. 특히, 오리멸전 연료의 특성상 미물질과의 혼합시 상분리 등으로 인한 연료 특성변화를 파악하기 위하여 오리멸전과 첨가제 혼합연료의 혼합상태 유지시간 을 변화하여 혼합상태 유지시간의 변화에 따른 연소특성 변화를 파악할 수 있도록 하였다. 이를 위해 수행된 당 연구센터에서 보유하고 있는 100l/hr 규모의 오리멸전용 연소보일러를 이용한 오리멸전, 오리멸전+첨가제 혼합연료 및 중유의 연소 실험을 위한 실험 조건은 아래의 <표 1>과 같이 유지하였다.

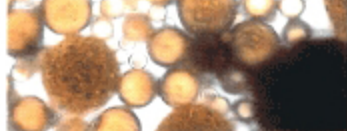
<표 > 연소특성 평가를 위한 실험조건 (첨가제 혼합비율 : 오리멸전 기준 0.1vol.%)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
연 료	오리멸전	오리멸전+첨가제	오리멸전+첨가제	중 유	중 유+첨가제
혼합상태 유지시간	-	2days	2hrs	-	2days
공급유량(kg/hr)	60	60	60	60	60
공급온도(℃)	40	40	40	90	90
분사제	스팀	스팀	스팀	스팀	스팀
스팀온도(℃)	150	150	150	150	150

III. 실험결과

1. 광학 현미경을 이용한 예멸전 상태 관찰 결과

[그림 2]는 광학 현미경을 이용한 예멸전 상태를 관찰한 것으로서 a, 오리멸전, b, 오리멸전 + 첨가제(혼합 상태 유지시간 : 2hrs) 및 c, 오리멸전 + 첨가제(혼합상태 유지시간 : 2days)를 나타낸 것이다.



a) 오리멸전

b) 오리멸전+첨가제(2hrs)

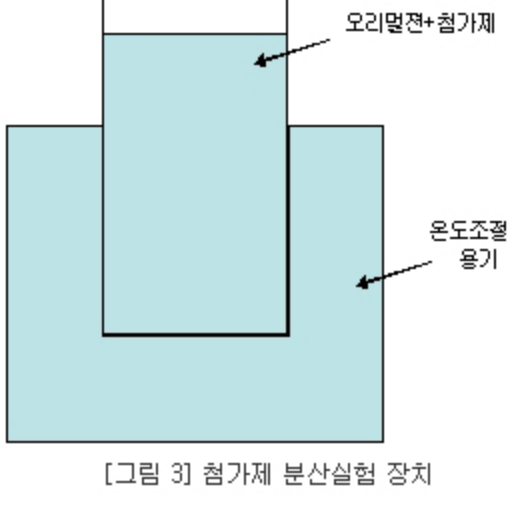
c) 오리멸전+첨가제(2days)

[그림 2] 광학 현미경을 이용한 예멸전 상태

[그림 2]에서 볼 수 있는 바와 같이 오리멸전의 예멸전 상태는 거의 균일한 입자의 분포를 나타내고 있으나, 오리멸전+첨가제의 혼합상태 유지시간을 증가시키는 경우 입자들이 점차적으로 상호입자간의 응집이 발생 되며, 2일동안 혼합상태를 유지하는 경우 확연한 예멸전 상태의 변화가 있음을 알 수 있었다. 따라서, 첨가 제 투입시 혼합상태의 유지시간을 길게하는 경우 오리멸전의 예멸전 상태의 변화가 발생하여 연소상태에 영 향을 미칠 수 있음을 고려해야 함을 확인하였다.

2. 첨가제의 분산실험 결과(에너지기술연구원 폐기물연구센터 실험결과 인용)

당 연구원의 폐기물연구센터에서 오리멸전과 첨가제의 혼합시 혼합온도 및 혼합상태 유지시간에 따른 첨가 제의 분산상태를 분석한 바 있다. 실험은 [그림 3]과 같이 온도조절이 가능한 전기히터를 포함하는 용기에 오리멸전 40ml와 첨가제를 1/100 vol.%로 혼합하여 약 30분간 교반한 후 혼합온도 및 혼합상태 유지시간에 따른 첨가제의 분산상태를 분석할 수 있도록 수행되었다.



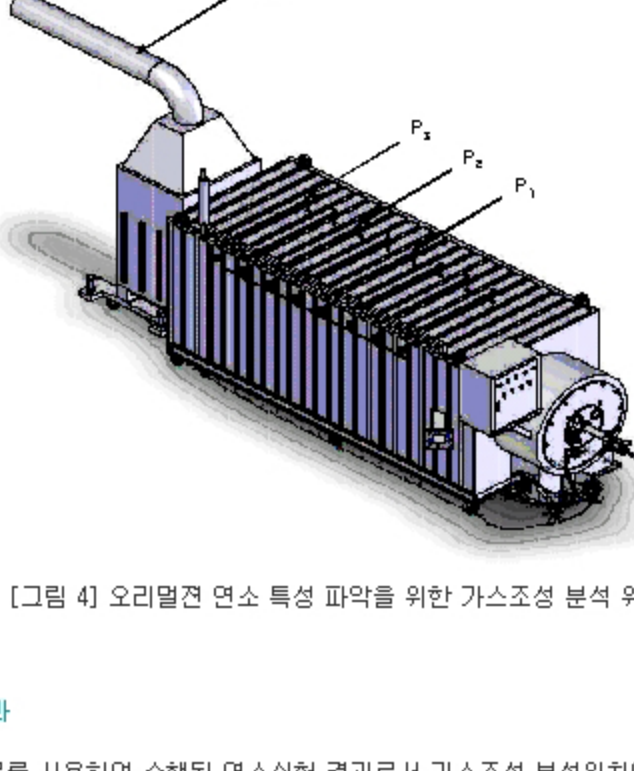
[그림 3] 첨가제 분산실험 장치

실험결과 상온에서 혼합하여 2days를 유지하는 경우 총 불리한상이 관찰되어 오리멸전과 첨가제의 혼합상 태가 양호하지 못한 것으로 나타났으나, 혼합시 온도를 50℃로 유지하여 2hrs를 유지한 후의 분산상태는 매 우 안정된 혼합상태를 나타냈다. 따라서, 앞의 [그림 2]에서 설명된 바와 같이 오리멸전과 첨가제의 혼합은 적절한 혼합온도의 유지 및 혼합상태 유지 시간은 오리멸전의 예멸전 상태에 영향을 미칠 수 있음을 확인하 였다.

3. 연소실험 결과

가. 데이터 측정을 위한 장치의 구성

오리멸전 연소시 연소 특성을 파악하기 위한 가스조성의 분석 결과는 [그림 4]의 P1(1.2m), P2(1.8m), P3 (2.4m) 및 main(5.8m)의 위치에서 측정하도록 하였다. 이중 main의 위치는 보일러 및 열교환기 후단부의 위치를 나타낸 것이다.



[그림 4] 오리멸전 연소 특성 파악을 위한 가스조성 분석 위치

나. 가스조성 분석 결과

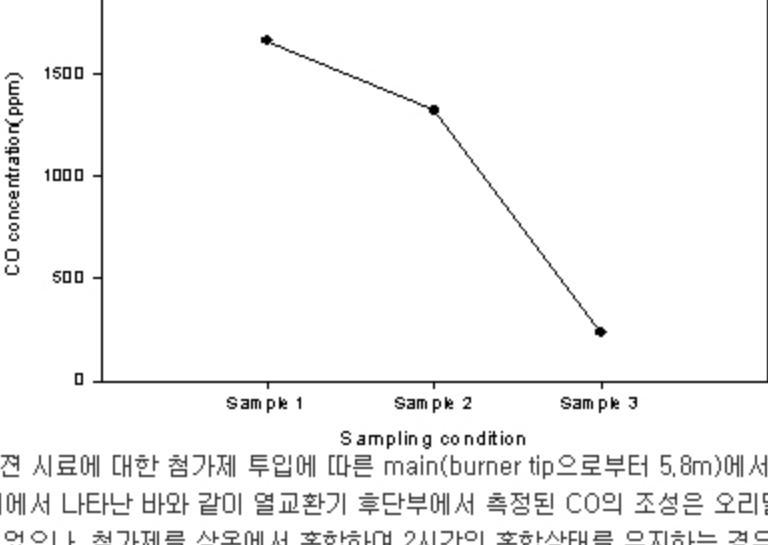
<표 2>는 각 연료 시료를 사용하여 수행된 연소실험 결과로서 가스조성 분석위치에 따른 가스조성 분석결 과를 나타낸 것이다. 특히, 가스조성의 경우는 excess O₂가 3%인 경우로 결과를 환산하여 나타내어 비교 가 가능하도록 하였다.

<표 2> 가스조성 분석결과

번호 (Sample No.)	실험조건	분석결과	P1(1.2m)	P2(1.8m)	P3(2.4m)	Main(5.8m)
1	연료유량 : 60l/hr 분사제 : 스팀 연료 : 오리멸전	Excess O ₂ (%)	3.0	3.0	3.0	3.0
		CO ₂ (%)	13.7	14.9	15.0	15.0
		CO (ppm)	3,580	1,398	1,831	1,658
		NO (ppm)	272	227	227	240
2	연료유량 : 60l/hr 분사제 : 스팀 연료 : 오리멸전+첨가제 (혼합상태 유지시간 : 2 days)	Excess O ₂ (%)	3.0	3.0	3.0	3.0
		CO ₂ (%)	13.9	14.8	15.0	14.8
		CO (ppm)	3,313	1,470	1,636	1,321
		NO (ppm)	269	228	222	237
3	연료유량 : 60l/hr 분사제 : 스팀 연료 : 오리멸전+첨가제 (혼합상태 유지시간 : 2 hrs)	Excess O ₂ (%)	3.0	3.0	3.0	3.0
		CO ₂ (%)	15.0	14.9	14.9	14.8
		CO (ppm)	918	457	309	231
		NO (ppm)	274	224	233	248
4	연료유량 : 60l/hr 분사제 : 스팀 연료 : 중유	Excess O ₂ (%)	3.0	3.0	3.0	3.0
		CO ₂ (%)	14.0	13.1	12.6	13.0
		CO (ppm)	2,596	166	152	171
		NO (ppm)	267	261	258	243
5	연료유량 : 60l/hr 분사제 : 스팀 연료 : 중유+첨가제 (혼합상태 유지시간 : 2 days)	Excess O ₂ (%)	3.0	3.0	3.0	3.0
		CO ₂ (%)	11.9	12.9	12.7	13.0
		CO (ppm)	1,920	0	0	0
		NO (ppm)	239	237	235	231

<표 2>에 나타난 실험결과를 이용하여 [그림 5] ~ [그림 6]에 CO 및 NO의 조성변화를 나타내었다. [그림 5] 및 [그림 6]은 오리멸전 시료에 대한 첨가제 효과 분석을 위한 CO의 분석결과를 나타낸 것이다. 실험은 첨가제 효과 분석을 위하여 첨가제를 혼합하지 않은 오리멸전 단독 연료의 연소상태를 CO 분석치가 1,000ppm 이상으로 배출되도록 하였으며, 아울러 첨가제 투입 연료에 대해서는 일체의 실험조건을 동일하 게 유지하여 첨가제 투입에 따른 연소 특성의 변화를 파악할 수 있도록 하였다.

[그림 5] 오리멸전 시료에 대한 첨가제 투입에 따른 CO의 조성변화



[그림 6] 오리멸전 시료에 대한 첨가제 투입에 따른 main(burner tip으로부터 5.8m)에서의 CO 조성변화 실험결과 [그림 5]에서 나타난 바와 같이 열교환기 후단부에서 측정된 CO의 조성은 오리멸전 단독 연료의 경우 1,658ppm 이었으나, 첨가제를 상온에서 혼합하여 2시간의 혼합상태를 유지하는 경우 실험한 오리멸전 +첨가제 연료의 CO 조성은 231ppm으로 연소상태가 크게 개선되었음을 알 수 있었다. 이는 출구에서의 excess O₂의 값을 통해서도 알 수 있었는데 오리멸전 단독 연료의 경우 0.8%로 분석되었으나, 첨가제를 혼합한 연료의 경우 1.0%로 나타나 excess O₂의 값이 약 0.2%의 증가가 있음을 알 수 있었다. 미의 결과는 당 연구원에서 중질유 연소시 첨가제의 영향을 평가하기 위한 연구(김 동찬, "산업용 보일러의 고효율 연소 촉진제 및 중질유 분사제 개발에 의한 미세먼지 저감기술 개발", 2005)를 통해 중질유의 경우 첨가제를 혼합 에 따라 excess O₂의 값이 약 1% 정도 증가됨을 보고한 바 있다. Excess O₂의 증가폭이 본 실험의 결과와 큰 차이를 나타내었는데, 이는 본 실험이 불완전 연소상태를 유지하여 CO의 발생을 약 1,000ppm 정도로 유 지하여 공급되는 대부분의 산소가 완전연소를 위해 사용되었기 때문으로 판단된다. 따라서, 정상적인 연소 상태에 따라 excess O₂의 값이 크게 줄일 수 있어 가스 배출구를 통한 열손실을 감소시키고 분진 발생을 줄임으로서 열교환부에서의 열교환 효율을 증가시켜 전체 보일러의 효율 개선에 크게 기여할 수 있을 것으 로 판단된다. [그림 7]은 90℃로 예열된 중유(S : 0.1%)의 첨가제 효과를 나타낸 것이다. 중유의 경우 첨가 제 투입에 따라 CO 농도가 감소하여 오리멸전의 경우와 같이 연소 상태가 개선됨을 알 수 있었다. 그러나, 중유는 오리멸전과 같은 예멸전 상태의 연료가 아니기 때문에 혼합상태 유지시간을 충분히게 하여도 연소상 태에 큰 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

[그림 7] 중유 시료에 대한 첨가제 투입에 따른 CO의 조성변화

[그림 8]은 오리멸전 연료에 대한 첨가제 투입에 따른 NO의 조성 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있 는 바와 같이 오리멸전의 경우 첨가제 투입에 따른 NO의 변화는 거의 관측되지 않음을 알 수 있었다. 따라 서, 오리멸전 연료에 첨가제를 투입하여 적절한 혼합상태 유지시간을 갖는 경우 연소상태의 개선을 통한 공 급 공기량을 줄일 수 있어 결과적으로 thermal NOx의 저감에도 기여할 수 있을 것으로 예측된다. [그림 9] 는 중유 연소시 첨가제의 투입에 따른 NO의 조성 변화를 나타낸 것이며, 첨가제의 투입시 NO의 값은 약간 감소됨을 알 수 있었다.

[그림 8] 오리멸전 시료에 대한 첨가제 투입에 따른 NO의 조성변화

IV. 토의

(주) 테크노바이오에서 개발한 연소촉진용 첨가제의 성능을 평가하여 한국에너지기술연구원에 설치된 중 유 대체를 위한 오리멸전 연소 특성연구용 100l/hr 규모의 소형 보일러를 이용하여 오리멸전 연료의 연소실험 을 실시하였다. 실험결과와 광학 현미경을 이용한 예멸전 상태의 관찰 및 첨가제 투입에 따른 가스조성의 분석 결과로 나타내었다. 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 오리멸전 연료의 첨가제 혼합시 예멸전 상태의 변화를 파악하기 위하여 혼합상태 유지시간에 대한 예 멸전 상태를 광학 현미경을 통해 분석하였다. 분석결과 상온에서 혼합상태 유지시간을 길게 하는 경우 입자들의 응집 현상에 의한 예멸전 상태의 변화가 관측되었으며, 이는 오리멸전 연료의 연소상태에도 영향을 미칠 수 있음을 것으로 예측되었다.

2. 혼합상태 유지시간을 적절하게 유지한 오리멸전+첨가제 연료의 연소실험 결과 오리멸전 단독 연료의 연소 실험과 비교하여 연소상태가 크게 개선될 수 있음을 CO의 조성변화를 통해 알 수 있었다. 연소상 태 개선을 통한 CO 조성의 감소는 공급되는 공기량을 감소할 수 있어 전체 보일러의 효율 개선 및 NO 의 저감에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 중유의 경우는 오리멸전과 같은 예멸전 상태의 연료가 아니 기 때문에 혼합상태 유지시간을 충분히게 하여도 연소상태에 큰 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있 었으며, 첨가제의 투입에 따라 연소상태가 개선되는 결과를 확인하였다.

3. 오리멸전+첨가제 연료의 연소시 발생되는 NO의 변화는 미미하였으며, 중유+첨가제의 경우는 약간 감 소됨을 알 수 있었다.

4. 이상의 결과를 통하여 오리멸전 연료에 첨가제를 투입하여 연소상태 개선을 통한 보일러 효율을 증가 시킬 수 있으며, 이를 위해 적절한 혼합상태 유지시간이 필요함을 알 수 있었다.